

# 高炉スラグ微粉末 6000 を混和したコンクリートのポンプ圧送の影響 による塩分浸透性状に関する検討

九州支店 土木営業部 平安山良和

## 1. はじめに

近年、高炉スラグ微粉末 6000 (以下、BFS と称す) を用いた高耐久性プレストレストコンクリート (以下、PC と称す) 構造物が開発されている。BFS の適用は、プレテンション桁への事例はあるものの、現場打ちの PC 上部構造における採用事例は少なく、ポンプ圧送などの施工性能や圧送の影響によるコンクリート性状の変化に関する報告がみうけられない。そこで本研究では、BFS を用いたコンクリートのポンプ圧送性および圧送の影響による性状の変化を確認するために、フレッシュな状態では、圧送中の管内圧力損失の測定、圧送前後のフレッシュ性状の確認および加圧ブリーディング試験を行い、ポンプ圧送性の検討を行った。また、硬化後のコンクリートでは、圧送前後に採取した供試体を用いて電気泳動試験を行い、塩化物イオンの浸透性状の変化について検討した。本稿では、これらの中から、BFS を混和したコンクリートのポンプ圧送の影響による塩化物イオンの浸透性状の変化について報告する。

## 2. 実験概要

### 2.1 使用材料および配合

使用材料を Table 1 に、コンクリートの示方配合を Table 2 に示す。

### 2.2 圧送条件

Fig. 1 に配管状況を示す。圧送管は、管径 5B (125A) を標準とし、ポンプ車は、最大吐出量 100m<sup>3</sup>/h を有するものを使用した。

生コンクリート工場から試験現場までのコンクリート運搬に要した時間は約 30 分であった。

### 2.3 試験方法

供試体は、N15 および B12 のポンプ圧送前と圧送後の試料を採取して作製し、20℃の水中に 28 日間養生した後、土木学会規準 JSCE-G571「電気泳動によるコンクリート中の塩化物イオンの実効拡散係数試験方法」に従い室内で電気泳動試験を行った。

## 3. 塩分浸透性状に関する評価

### 3.1 塩化物イオン濃度の経時変化

N15 および B12 の陽極側の塩化物イオン濃度の変化をそれぞれ Fig. 2, Fig. 3 に示す。図より、N15 より B12 の方が、実験開始から陽極側の塩化物イオンの濃度が増加し始めるまでの日数

Table 1 Materials

Ordinary Portland Cement (C)	Density;3.15g/cm <sup>3</sup> Specific Surface Area;3520cm <sup>2</sup> /g
GGBFS 6000 (BFS)	Density;2.91g/cm <sup>3</sup> Specific Surface Area;5820cm <sup>2</sup> /g
Sea Sand (S1)	Density in Saturated Surface-Dry Condition;2.60g/cm <sup>3</sup> Water Absorption;2.28%
Crushed Sand (S2)	Density in Saturated Surface-Dry Condition;2.60g/cm <sup>3</sup> Water Absorption;1.11%
Crushed Gravel (G)	Density in Saturated Surface-Dry Condition;2.70g/cm <sup>3</sup> Water Absorption;0.43%
Chemical Admixture (Ad)	Air-Entraining and High-Range Water-Reducing Admixture

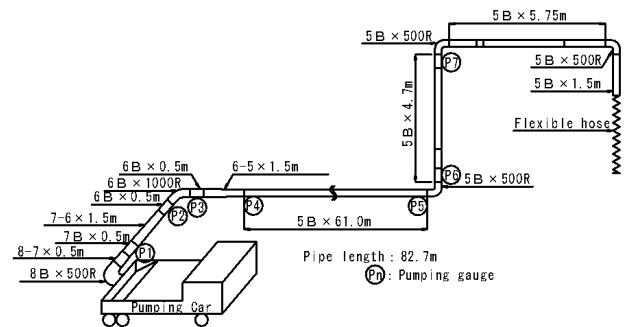


Fig. 1 Arrangement for Concrete Pumping Test

が長く、約 40 日を要した。また、定常状態における濃度の増加割合は小さくなった。福永らの研究では BFS (W/B=31.9%) を混和した場合、塩化物イオンの濃度増加が陽極側で検出されるまでの日数は 50~70 日となっている。これは、今回の試験において、高炉セメントコンクリートは BFS を使用し、水結合材比は 43% であるため、コンクリートはより緻密化されていると考えられる。また、N15 および B12 の両方において、圧送前より圧送後の方が塩化物イオン濃度の増加割合が大きかった。

Table 2 Mixture Proportions of Concrete

Mixture	Slump (cm)	W/B (%)	s/a (%)	Unit of Weight (kg/m <sup>3</sup> )						
				W	C	BFS	S1	S2	G	Ad
N15	15	43.0	46.2	155	360	0	417	417	996	2.52
B12	12	43.0	45.3	155	180	180	410	410	996	2.16

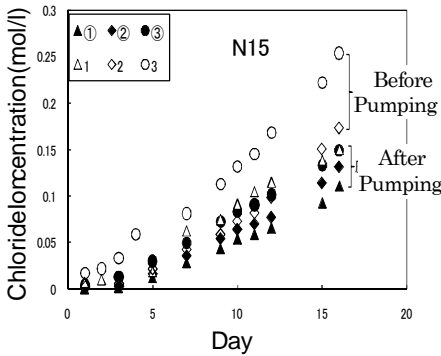


Fig. 2 N15 Change of Chloride Ion Concentration

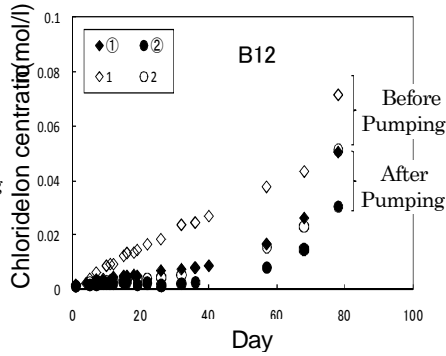


Fig. 3 B12 Change of Chloride Ion Concentration

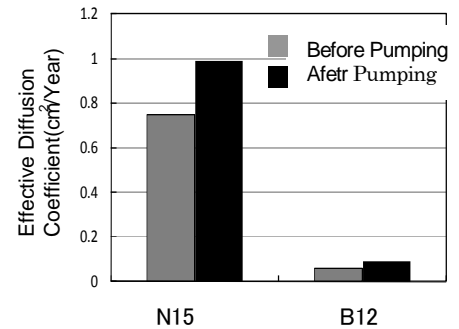


Fig. 4 Effective Diffusion Coefficient

### 3.2 実効拡散係数

供試体の陽極側の塩化物イオン濃度の経時変化により、実効拡散係数  $D_e$  を求めた。その結果を Fig. 4 に示す。N15 より B12 の実効拡散係数は非常に小さく、N15 の約 1/10 の程度となった。また、どの配合供試体においても、ポンプ圧送前より、圧送後の方が実効拡散係数は大きくなる傾向が見られた。このことから、ポンプ圧送の影響により、コンクリートの塩分浸透抵抗性が低下する可能性があると考えられる。ポンプ圧送が及ぼす影響については、今後の課題として検討する必要があると考えられる。

### 3.3 塩化物イオンの経時変化

コンクリート標準示方書に示す W/C と見かけの拡散係数への換算係数 ( $k_1 \cdot k_2$ ) との関係を用いて、実効拡散係数を見かけの拡散係数へ換算し、換算した拡散係数により鉄筋位置における塩化物イオンの経時変化を算出した結果を Fig. 5 に示す。なお、塩化物イオン量 ( $C_d$ ) は、標準示方書に示されている回帰式 [1] に従い算出し、コンクリート表面の塩化物イオン量 ( $C_0$ ) は  $13.0 \text{ kg/m}^3$  (飛沫帯)、かぶり ( $c$ ) は  $35 \text{ mm}$  とした。

$$C_d = \gamma_{cl} \cdot C_0 \left( 1 - \operatorname{erf} \left( \frac{0.1}{2\sqrt{t}} \cdot \frac{c}{\sqrt{D_d}} \right) \right) \quad [1]$$

ここに  $C_d$ : 塩化物イオン量 ( $\text{kg/m}^3$ )  
 $t$ : 時間 (年)  
 $c$ : かぶり (mm)  
 $D_d$ : 見かけの拡散係数 ( $\text{cm}^2/\text{年}$ )

Fig. 5 に示す通り、N15 は約 7 年で腐食発生限界の塩化物イオン量  $1.2 \text{ kg/m}^3$  を超えるのに対し、B12 では、圧送前後とも 100 年では腐食発生限界を超えない結果となった。このことより本研究においては、B12 のコンクリートを用いれば、厳しい腐食環境の飛沫帯においても、鉄筋のかぶりが  $35 \text{ mm}$  程度で要求性能を満足する結果となった。しかしながら、本研究における試料が非常に少ないことから、実効拡散係数が

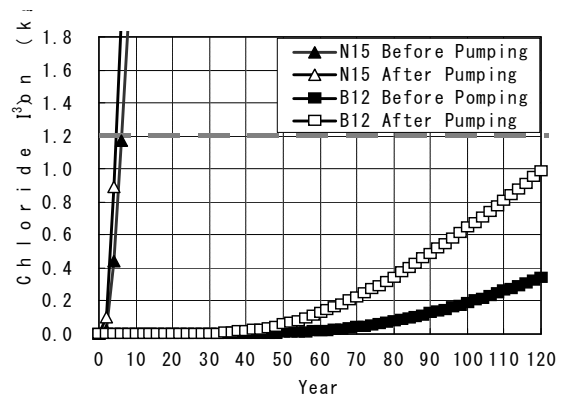


Fig. 5 Chloride Ion Content of Concrete at a depth of 35mm

ら見かけの拡散係数への換算する場合は、さらに多くの検討を行う必要がある。

## 4. まとめ

本研究から得られた知見を以下にまとめる。

- (1) BFS を混和したコンクリートの実効拡散係数は普通コンクリートより、非常に小さく、1/10 程度となった。
- (2) 実効拡散係数から換算した見かけの拡散係数を用いて塩化物イオン量を検討した結果、B-12 の配合のコンクリートを用いれば、厳しい腐食環境においても 35mm のかぶり厚さで 100 年の耐久性が確保できることが分かった。しかし、見かけの拡散係数への換算に当たっては、さらなる検討が必要である。

【謝辞】本稿は、筆者が博士後期課程に在籍中および単位得後 2 年間に行った研究の一部を概説したものです。ご支援を下さいました皆様に深く感謝申し上げます。

**Key Words**: 高炉スラグ微粉末, 塩化物イオンの浸透, 実効拡散係数, 見かけの拡散係数



平安山 良和